

## Epsilon Orionis Süperdev Yıldızının Moröte Çizgi Tanısı

Serdar KOÇAK<sup>1</sup>, İ.Ethem DERMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Boğaziçi Üniversitesi, KRDAE Belbaşı NDİM, Ahlatlıbel, Ankara  
serdarko@boun.edu.tr

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara  
ethem.derman@ankara.edu.tr

**Özet:** Epsilon Orionis'in (B0 Ia, HD37128), Hubble Uzay Teleskobu (HUT) üzerinde bulunan Goddard High Resolution Spectrograph (GHRS) kamerası ile alınan yüksek çözünürlüklü (94000<R<100000) moröte tayfları kullanılarak çizgi tanıları yapılmıştır. Tayflar, 1740-2860 Å aralığını kapsamaktadır. Bu dalgaboyu aralığına düşen toplam 13 adet tayf mevcuttur. Tüm kalibrasyon işlemleri uygulanmış tayfların analize hazır hale getirilmesi ve analizleri aşamasında, HUT verileri için özel olarak üretilen yazılım ve paket programlar kullanılmıştır. Epsilon Orionis, yoğun Orion moleküler bulutu yakınlarında bulunur. Bazı ECH-B tayflarında Cr II, Fe II, Zn II, Si II, Ni II ve Mg I gibi yıldızlararası çizgiler mevcuttur.

**Anahtar Kelimeler :** yıldızlar: Epsilon Orionis – yıldızlar: moröte çizgi tanısı – yıldızlararası madde: tanı

**Abstract :** High resolution (94000<R<100000) ultraviolet spectra of Epsilon Orionis (B0 Ia, HD37128), obtained from Goddard High Resolution Spectrograph (GHRS) aboard the Hubble Space Telescope (HST), is used for line identification. The spectral range covers between 1740-2860 Å. Individual 13 spectra present in this range. Software packages which are specifically designed for HST data is used for preparing and analyzing the full calibrated spectrum. Epsilon Orionis lies close to the dense Orion Molecular Cloud. Interstellar lines; Cr II, Fe II, Zn II, Si II, Ni II and Mg I are present in some of these ECH-B spectra.

**Key words :** stars: individual: Epsilon Orionis – stars: UV line identification – ISM: identification

### 1.Giriş

Mavi süperdev bir yıldız olan Epsilon Orionis, Orion kuşağı olarak bilinen bölgede bulunan 3 yıldızdan ortada olanıdır. Gökyüzündeki en parlak yıldızlardan birisidir. MK sınıflandırmasında (Johnson ve Morgan 1953) standart B0 Ia yıldızı olarak belirtilmiştir. Yıldızın ait temel parametreler Tablo 1'de (Prinja ve ark. 2004) sunulmuştur.

Tablo 1. Epsilon Orionis'in temel parametreleri

Parametre	Değer	Referans
Tayf Türü	B0 Ia	Walborn (1976)
T <sub>etkin</sub>	28500 K	Kudritzki vd.(1999)
vsini	80 km/sn	Kudritzki vd.(1999)
R*/R <sub>☉</sub>	35	Kudritzki vd.(1999)
M*/M <sub>☉</sub>	20	Schaller vd. (1992)
V <sub>∞</sub>	1500 km/sn	Kudritzki vd.(1999)
$\dot{M}$	1.9×10 <sup>-6</sup> M <sub>☉</sub> /y	Blomme vd. (2002)

Lamers (1974), mutlak görsel parlaklık ve bolometrik düzeltme gözönüne alındığında bu yıldız için ışınım gücünün  $\log(L^*/L_{\odot})=5.7$  olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada elde ettiği diğer temel parametreler Tablo 1'de sunulan değerlerle uyumludur. Lamers (1974), kullandığı veriler ile kabul görmüş evrim yollarını karşılaştırmış ve Epsilon Orionis yaklaşık 40 M<sub>☉</sub> kütleli kabul edilirse bu yıldızın kabukta hidrojen yakma evresinde olduğu ve ortalama yaşının 3-4 milyon yıl olabileceği sonucuna varmıştır.

Bu yıldızın uzak UV tayf gözlemleri ilk olarak Morton (1967), Morton ve ark. (1968) tarafından yapılmıştır. Aerobee roketi üzerinde bulunan UV tayfçekeri ile yapılan gözlemlerin dalgaboyu aralığı 1100 – 2750 Å olup, çözünürlüğü R~2000'dir. Bu bölgede göze çarpan en önemli özellikler Si III, Si IV, C IV ve N V'in güçlü rezonans çizgilerinin P-Cygni profilleridir. Ayrıca diğer olası elementlere ait çizgi tanımlamaları yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda 80'den fazla soğurma çizgisi gözlenmiş fakat bu çizgilerin 30'dan fazlası tanımlanamamıştır.

Poster tam metni için : Serdar KOÇAK  
e-mektup: serdarko@boun.edu.tr

Epsilon Orionis'in UV tayfı Stalio ve Selvelli (1975) tarafından da incelenmiştir. Kullanılan

tayfların dalgaboyu aralığı 1000–1540 Å ve 1620–3200 Å olup, Copernicus uydusu gözlemleridir. Çözünürlük R~6000 kadardır. Bu çalışmada yıldız atmosferinde bulunan çizgi tanımlamaları yapılmış, listeler halinde sunulmuştur. Yıldızlararası bazı çizgilerin tayflarda mevcut olduğu ve bunları yıldız atmosferinde bulunan çizgilerden ayırmanın, şiddetlerinden dolayı kolay olduğundan söz edilmiştir. Bolluk analizi konusuna bu çalışmada yer verilmemiştir.

Epsilon Orionis ile ilgili en ayrıntılı çalışmayı görsel bölgede Lamers (1972 a, b) ESO ve Kitt Peak Gözlemevlerinden alınan tayfları kullanarak yapmıştır. Tayfların çözünürlükleri 2.3 – 4.4 Å/mm arasında değişen değerlerdedir. Gözlenmiş çizgilerin listesini, çizgi tanımlamalarını ve örtüşme olmayan eşdeğer genişlikleri 1972a çalışmasında, bolluk değerlerini ve mikrotürbülans hızlarını basit büyüme eğrisi analizleri yardımıyla 1972b çalışmasında elde etmiş ve çizelgeler halinde sunmuştur. Bu çalışma (Lamers 1972b) dışında Epsilon Orionis'in bolluk analizi yapılmış başka bir yayınına rastlanamamıştır.

## 2. Gözlemler ve Tayf Bilgisi

Epsilon Orionis'in bolluk analizi, çalışmamızın asıl amacını oluşturmaktadır. Poster olarak sunulan bulgular, bolluk analizi çalışmasının sadece bir bölümüdür.

Çizgi tanımlaması yapılacak olan yıldız tayfları, HUT tarafından alınan ve arşivlenen tayflardan oluşmaktadır. HUT verilerinin kullanılmasının en önemli amacı, tayfların yüksek çözünürlükte olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan tayflar, HUT üzerinde Nisan 1990'da çalışmaya başlayan ve şu an görevini tamamlamış olan GHRS kamerasına aittir. Tayfların çözünürlükleri  $94000 < R < 100000$  arasındadır. Kalibre edilmiş olarak arşivden çekilen tayflar HUT verilerinin işlenebilmesi için gerekli olan ve Hubble Uzay Teleskobu Fen Bilimleri Enstitüsü (Space Telescope Science Institute) tarafından özel olarak üretilen yazılım ve paket programlar kullanılarak analize hazır hale getirilmiştir. ECH-B ızgarası ile belirli bir bölgenin tayfı alınırken, bu bölgeye ait başlangıç ve bitiş dalgaboyu değerleri arasında en fazla 1 veya 2 Å'luk fark olan üç ayrı tayf alınır. Aynı bölgeye ait sayılabilecek bu üç ayrı tayf birleştirilerek gürültü oranı 1/3 azaltılmış ve üzerinde çalışılacak olan bir adet tayf elde edilmiştir. Bu tayfın sürekliliği belirlendikten sonra, yıldızın gözlenmiş tayfında bulunan ve tayf çizgisi olarak adlandırılan her bir çizginin eşdeğer genişliği, merkezi dalgaboyu, çizgi derinliği ve yarı maksimumdaki tam genişliği belirlenmiştir. Bütün bu işlemler sırasında HUT verilerinin düzenlenmesi ve analize hazır hale getirilmesi için özel olarak üretilen paket programlar (STSDAS, TABLES, NOAO -

ONEDSPEC) kullanılmıştır. Bu programlar hakkında ayrıntılı bilgiler Gokay (2004) tarafından verilmiştir. Çizgi tanısından önce tayflar için gerekli olan dikine hız düzeltme miktarı hesaplanıp, tayflara bu düzeltme miktarı uygulanmıştır. Bu işlemde sonra, güncel laboratuvar çizgi tanısı listeleri gözönüne alınarak tayf çizgilerinin hangi elemente ait oldukları belirlenmiştir. Epsilon Orionis'in ECH-B tayflarının kapsadığı dalgaboyu aralığında, yıldızın atmosferinde bulunan atom ve iyonlar tanımlanmıştır.

## 3. Çizgi Tanısı

Epsilon Orionis'in HUT-GHRS ECH-B tayflarının kapsadığı aralığı içine alan bir çalışma Stalio ve Selvelli (1975) tarafından Copernicus tayfları üzerinden yapılmıştır. Bu çalışmada yıldızın atmosferinde bulunan çizgi tanımlamaları yapılmıştır. Kullanılan tayfların dalgaboyu aralığı 1000–1540 Å ve 1620–3200 Å arasında olup, Copernicus uydusu gözlemleridir. Karşılaştırma yapmak açısından Stalio ve Selvelli (1975)'nin bu çalışması gözönünde tutulmuştur. Onların kullandıkları tayfların (1620-3200 Å) çözünürlükleri  $4000 < R < 8000$ 'dir. HUT tarafından alınan ECH-B tayflarının çözünürlükleri ise  $94000 < R < 100000$  arasındadır. ECH-B tayflarının yüksek çözünürlüklerinden dolayı, Stalio ve Selvelli (1975)'nin ayrı ayrı göremedikleri çizgiler bu tayflarda net olarak görülebilmektedir. Çizgi tanıları sırasında birçok kaynaktan yararlanılmıştır. Bu kaynaklardan; çizgilerin laboratuvar dalgaboyları, log gf değerleri, görelî şiddetleri, multiplet numaraları, enerji seviyeleri, j ve g değerleri belirlenmiş ve çizginin hangi elemente ait olduğuna karar verilmiştir. Kullanılan kaynaklardan başlıcaları; Moore, C (1950, 1952), Kurucz, R.L. (1995), NIST (National Institute of Standards and Technology) Atomic Spectra Database (1999) ve M.A. Bautista, S.N. Nahar, M.J. Seaton, D.A. Verner "The Atomic Line List" (1999)'dir. Epsilon Orionis'in ECH-B tayflarındaki tüm çizgiler ve özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur. Bu tayflarda hala belirlenemeyen ve belirlenmesine karşın şüphe ile yaklaşılacak bazı çizgiler vardır. Bu çizgiler üzerinde halen çalışılmaktadır. Tablo 2'de; 1.kolon gözlenen dalgaboyunu (Å), 2. kolon laboratuvar (vakum ortam) dalgaboyunu (Å), 3.kolon tanımlanan elementi, 4. kolon multiplet numarasını, 5. kolon görelî şiddeti, 6. kolon log gf değerini, 7. kolon alt enerji seviyesini (eV) ve 8. kolon da km/sn biriminde olmak üzere dikine hızları göstermektedir. Tablo 2'nin dördüncü kolonunda bulunan multiplet numaralarının bazılarında (\*) karakteri bulunmaktadır.

S. Koçak vd. : Epsilon Orionis Süperdev Yıldızının Moröte Çizgi Tanısı

**Tablo 2.** Epsilon Orionis'in Moröte Çizgi Tanısı

$\lambda_{göz}$	$\lambda_{vak}$	Tanı	M.No	G.Ş.	loggf	A.Enj	Vr
1740.17	1740.31	N II	60	400	-1.13	13.54	-24.6
1740.93	1741.11	Cr IV	1*		-0.49	12.97	-30.6
1741.55	1741.55	Ni II	5	30	-0.21	0.00	0.7
1742.17	1741.96	Ni III		300	0.26	7.61	36.9
1743.01	1743.20	N II	60		-1.38	13.54	-32.2
	1743.23	N II	60		-1.87	13.54	-37.5
1744.27	1744.22	Fe III	1*		-0.89	7.87	8.2
	1744.24	Fe III	1*		-1.44	7.87	5.2
1745.42	1745.64	Fe III	2*	250	-0.56	8.24	-37.1
	1745.41	S IV	1*	100	-0.13	26.50	0.9
1747.15	1747.13	Cr IV	1*		-0.44	12.93	2.9
	1747.26	Fe III	2*		-0.86	8.24	-18.9
1747.93	1747.85	N III	19	450	-0.59	18.09	14.6
	1748.17	Fe III	1*	150	-0.95	7.87	-41.4
1749.55							
1802.83	1803.02	Si III	51	60	-1.39	19.72	-30.5
1804.54	1804.49	N III	22	6	-0.61	30.46	8.0
	1804.42	Fe IV	2*		-1.08	17.07	20.7
1805.39	1805.66	N III	22	7	-0.31	30.47	-45.5
	1805.30	N III	22		-0.14	30.46	14.9
1806.73	1806.98	Fe III	3*		-1.69	11.12	-41.9
1807.63	1807.60	Fe IV	2*		-0.94	17.10	4.6
1808.01	1808.01	Si II	1	7	-2.10	0.00	-1.0
1810.04	1809.79	Fe III	3*		-1.03	11.13	41.9
1811.37	1811.25	Fe IV	1*	6	-0.88	17.15	19.7
1812.57	1812.55	Fe IV	2*		-1.10	17.10	4.1
1823.24	1823.04	Ni III	20	800	0.40	7.61	31.6
1825.03	1824.68	Fe III		70	-0.88	11.12	58.7
1826.32	1826.22	Cr IV	12	30	0.42	13.03	16.5
1826.95	1826.88	Cr IV	16	30	0.48	13.72	12.5
1827.96	1827.98	Fe IV	1*	13	-0.20	17.22	-2.4
1830.22	1830.36	Cr IV	12	10	0.04	12.93	-22.7
	1829.99	Ni III	20	400	0.21	7.76	38.5
	1830.06	Ni III	20	200	0.10	7.87	26.3
1831.33							
1854.57	1854.13	Ni III	19	800	0.49	7.61	72.0
	1854.72	Al III	1	1000	0.06	0.00	-22.9
	1854.82	Fe III	63	9b	-0.02	8.66	-39.9
1856.75	1856.62	O III	1*	500			21.4
	1856.69	Fe III	63	7	-0.13	8.66	10.9
1858.18	1858.03	Al II	4	7	-0.55	4.64	24.5
	1857.87	N II	1*	300	-1.29	18.47	49.6
1860.55	1860.64	Fe IV	1*	12	-0.57	17.10	-14.5
	1859.95	Fe III	63	4	-0.48	8.65	96.8

**Tablo 2.** (devam)

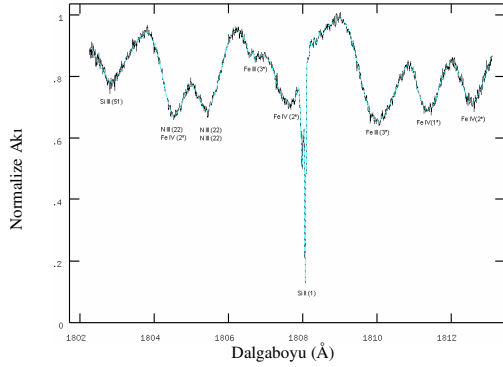
$\lambda_{göz}$	$\lambda_{vak}$	Tanı	M.No	G.Ş.	loggf	A.Enj	Vr
1862.66	1862.59	N II	1*	200	-1.77	18.47	11.4
	1862.31	Al II	4	10	-0.32	4.66	56.0
	1862.79	Al III	1	600	-0.24	0.00	-21.1
2022.78	2022.84	Mn III	17	300	0.03	8.91	-9.5
2024.03	2023.88	Mn III	17	50	-0.50	8.87	21.5
2026.13	2026.14	Zn II	1	10	-0.09	0.00	-1.1
2026.46	2026.48	Mg I	2	9	-0.60	0.00	-2.2
2028.35	2028.53	Mn III	17	1000	0.34	8.95	-25.5
2030.23	2030.08	Mn III	17	80	-0.33	8.91	21.6
2031.49							
2055.25							
2056.27	2056.25	Cr II	1	200	0.03	0.00	1.7
2056.82	2056.52	Fe III	71	7	-0.02	10.44	42.9
	2056.81	Fe III	105	6	0.14	9.14	0.8
2057.64	2057.72	Fe III	78	6	0.07	9.56	-11.1
2059.20	2059.23	Fe III	100	8	0.63	10.34	-3.7
2060.36	2060.35	Fe III	78	7	0.24	9.56	2.3
2062.24	2062.23	Cr II	1	175	-0.11	0.00	1.6
2062.44	2062.42	Fe III	78	9	0.40	9.54	3.7
	2062.22	Fe III	48	10	-0.05	5.08	33.0
2062.66	2062.66	Zn II	1	9	-0.38	0.00	0.1
2244.97	2244.80	Cr III	39	150	0.35	6.18	22.8
2248.73	2248.58	Si III	1*		-3.00	25.98	20.3
	2248.68	Si III	1*		-2.26	25.98	6.8
2249.87	2249.88	Fe II	5	m	-1.60	0.00	-1.3
2252.37	2252.16	Cr III	39	80	0.21	6.15	27.0
2253.54	2253.39	He II		10	-0.90	48.37	20.0
2319.89	2319.78	Cr III	44	100	0.40	7.07	14.6
	2319.94	Fe III	72	10	-1.04	9.56	-5.8
2322.40	2322.44	Fe III	132	10	-2.94	11.47	-5.8
2325.19	2325.09	Fe III	156	8	-1.03	13.13	12.1
2325.65	2325.60	Cr III	44	150	0.50	7.12	6.4
2330.56	2330.62	Fe III	72	9	-1.30	9.56	-7.7
2332.22	2332.06	Ti III	13	3	-0.46	4.72	20.4
	2332.37	Ti III	13	3	-0.52	4.72	-19.3
2374.47	2374.46	Fe II	2	8	-0.55	0.00	1.0
2480.39	2480.56	Cr III	43	100	-0.04	7.07	-20.0
2482.43	2482.26	Si III	1*	3	-0.70	25.98	20.5
2483.94	2483.94	Si III	1*	6	-1.01	25.98	-0.6
	2483.82	Cr III	43	100	0.18	7.12	14.2
2485.56	2485.28	Ni III	1*		0.12	22.45	34.1
2489.23	2489.03	Ni III	1*		0.65	22.45	23.6
	2489.53	Ni III	1*		0.74	22.45	-36.8
2512.27	2511.96	He II	m	50	-0.30	48.37	36.9

Bu karakterin olduğu multipler numaraları, kullanılan kaynaklarda mevcut olmadığından dolayı tarafımızdan numaralandırılmış olduklarını göstermektedir. Ayrıca, Tablo 2’de görülen “m” ve “b” harfleri de, ait olduğu çizginin sırası ile “maskelenmiş” veya “örtülmüş” olduğunu belirtmektedir. ECH-B tayflarında gözlenen yıldızlararası çizgiler ve özellikleri bir sonraki bölümde sunulacaktır.

Epsilon Orionis’in ECH-B ızgarasının duyarlı olduğu dalgaboyu aralığında toplam 13 tayf mevcuttur. Bu tayflardan, tanımlaması yapılmış çizgileri gösteren bir örnek, Şekil 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** (devam)

$\lambda_{\text{göz}}$	$\lambda_{\text{vak}}$	Tanı	M.No	G.Ş.	logg f	A.Enj	Vr
2512.27	2512.49	C II	14	12	-1.24	13.72	-26.5
	2512.81	C II	14	5	-0.28	13.72	-65.1
2516.91	2516.82	Ti III	20	7	0.46	4.76	10.7
2518.41	2518.33	Si IV	26	7	1.02	31.51	9.3
	2518.33	Si IV	26	7	-0.53	31.51	9.3
2796.38	2796.35	Mg II	1	50	0.10	0.00	2.8
2798.93	2798.82	Mg II	3	40	0.53	4.43	11.0
2803.56	2803.53	Mg II	1	50	-0.21	0.00	3.4
2852.96	2852.96	Mg I	1	300	0.27	0.00	-0.1

**Şekil 1.** Epsilon Orionis’in çizgi tanısına bir örnek

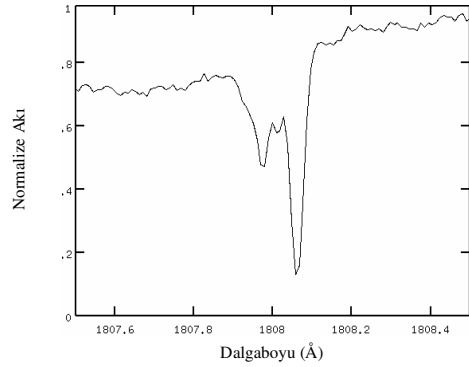
#### 4. Yıldızlararası Çizgiler

ECH-B tayflarına bakıldığında yıldızlararası çizgiler dikkati çekmektedir. Bu çizgiler profil bakımından, yıldıza ait çizgilerden çok daha dar ve daha şiddetlidir. Tüm ECH-B tayflarında bulunan yıldızlararası çizgiler ve özellikleri Tablo 3’de gösterilmektedir. Tablo 3’de; 1. kolon, gözlenen dalgaboyunu (Å); 2. kolon, laboratuvar dalgaboyunu (Å); 3. kolon, çizginin ait olduğu elementi ve 4. kolon da referansları (1; Roth ve Blades (1995), 2; Stalio ve Selvelli (1975)) göstermektedir.

**Tablo 3.** ECH-B tayflarındaki yıldızlararası çizgiler

$\lambda_{\text{göz}}$	$\lambda_{\text{vak}}$	Element	Ref
1741.55	1741.55	Ni II	2
1808.01	1808.01	Si II	2
2026.13	2026.14	Zn II	1
2026.46	2026.48	Mg I	1,2
2056.27	2056.25	Cr II	1
2062.24	2062.23	Cr II	1
2062.66	2062.66	Zn II	1
2249.87	2249.88	Fe II	2
2374.47	2374.46	Fe II	2
2852.96	2852.96	Mg I	2

Epsilon Orionis’in ECH-B tayflarında mevcut olan yıldızlararası çizgilerin profil yapıları birbirlerine çok benzemektedir. Bu çizgilerin profilleri incelendiği zaman, her çizginin birden fazla bileşenden oluştuğu görülmektedir. Bu, yıldız ile gözlemci arasında farklı yoğunluklu bölgelerin olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Epsilon Orionis, yoğun Orion moleküler bulutu yakınlarında bulunduğu için bu sonuç normaldir. Şekil 1’de görülen 1808.01 Si II çizgisinin detaylı profili Şekil 2’de sunulmuştur. Sözü edilen bileşenler Şekil 2’de görülmektedir.

**Şekil 2.** Yıldızlararası 1808.01 Si II’nin çizgi profili

#### 5. Sonuç

Mavi süperdev Epsilon Orionis yıldızının HUT GHRS kamerası ile alınan yüksek çözünürlüklü ECH-B tayfları kullanılarak moröte çizgi tanıları yapılmıştır. Uzak UV ve görsel tayfları da incelenerek yıldızın bolluk analizi yapılacaktır.

## 6. Kaynaklar

- Bautista, M.A, Nahar, S.N., Seaton, M.J., Verner, D.A., 1999. The Atomic Line List v2.04. Dep. of Physics and Astronomy University of Kentucky (<http://www.pa.uky.edu/~peter/atomic/>)
- Blomme, R., Prinja, R.K., Runacres, M.C. ve Colley, S. 2002, A&A, 921, 934
- Gokay, G., Derman, İ.E., “Hubble Uzay Teleskobu ile Alınan Tayfların İndirgenmesi”, Poster, 14.Ulusal Astronomi Kongresi, EÜ, Kayseri, 31 Ağustos-3 Eylül 2004
- Johnson, H.L., Morgan, W.W. 1953, ApJ., 117, 313
- Kudritzki, R.P., Puls, J., Lennon, D.J.1999, A&A, 350, 970
- Kurucz, R.L., Bell,B., 1995., Atomic Line Data Kurucz CD-Rom No.23, Cambridge
- Lamers, H.J. 1972a, A&AS, 7, 113
- Lamers, H.J. 1972b, A&A, 17, 34
- Lamers, H.J. 1974, A&A, 37, 237
- Moore, C. E., 1950., “An Ultraviolet Multiplet Table, Section 1”, Washington D.C.
- Moore, C. E., 1952., “An Ultraviolet Multiplet Table, Section 2”, Washington D.C.
- Morton, D.C. 1967, ApJ., 150, 535
- Morton, D.C., Jenkins, E.B. ve Bohlin, R.C. 1968, ApJ, 154, 661.
- National Institute of Standards and Technology Atomic Spectra Database, 1999. Washington D.C. ([http://physics.nist.gov/cgi-bin/AtData/line\\_form](http://physics.nist.gov/cgi-bin/AtData/line_form))
- Prinja, R.K., Rivinius, Th., Stahl, O., Kaufer, A., Foing, B.H., Cami, J. ve Orlando, S. 2004, A&A, 418, 727-736
- Roth, K.C., Blades, J.C. 1995, ApJ, 445, L95-98
- Schaller, G., Schaerer, D., Meynet, G. ve Maeder, A. 1992, A&AS, 96, 269
- Stalio, R., Selvelli, P.L. 1975, A&AS, 21, 241
- Walborn, N. 1976, ApJ, 205, 419